

Lithographic apparatus and device manufacturing method

Publication number: JP2003158070 (A)

Publication date: 2003-05-30

Inventor(s):

Applicant(s):

Classification:

- International: G02B7/182; G02B7/00; G02B7/02; G02B27/62; G03F7/20; G21K1/06; G21K5/02; H01L21/027; G02B7/182; G02B7/00; G02B7/02; G02B27/62; G03F7/20; G21K1/00; G21K5/02; H01L21/02; (IPC1-7): H01L21/027; G02B7/182; G03F7/20

- European: G02B7/00T; G02B7/02; G03F7/20T16; G03F7/20T26

Application number: JP20020237163 20020712

Priority number(s): DE20011034387 20010714

Also published as:

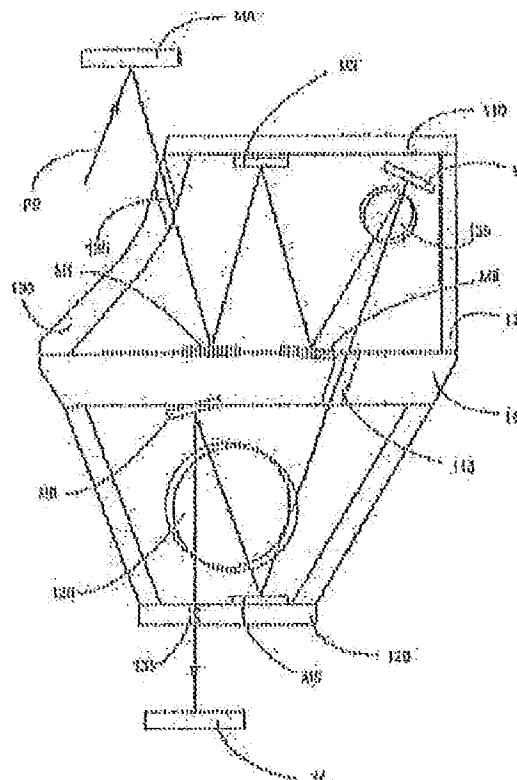
JP3836767 (B2)
EP1278089 (A2)
EP1278089 (A3)
EP1278089 (B1)
US2003058422 (A1)

more >>

Abstract of JP 2003158070 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection system which realizes high positioning precision necessary for an EUV lithographic apparatus and does not need to cool a frame to which an optical element is fixed, and to perform predictive temperature compensation positioning control which is complicated and expensive.

SOLUTION: In this lithographic projection apparatus, the projection system comprises a plurality of optical elements or sensors mounted on a frame. The frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ thereby avoiding the need for expensive cooling system and/or predictive temperature compensation.



Data supplied from the *espacenet* database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2003-158070
(P2003-158070A)

(43) 公開日 平成15年5月30日 (2003.5.30)

| (51) Int.Cl. ⁷ | 識別記号 | F I | テマコード* (参考) |
|-------------------------------------|-------|---------------|-------------------|
| H 0 1 L 21/027 | | G 0 3 F 7/20 | 5 2 1 2 H 0 4 3 |
| G 0 2 B 7/182 | | H 0 1 L 21/30 | 5 3 1 A 5 F 0 4 6 |
| G 0 3 F 7/20 | 5 2 1 | | 5 1 5 D |
| | | | 5 1 7 |
| | | G 0 2 B 7/18 | Z |
| 審査請求 未請求 請求項の数 9 O L 外国語出願 (全 27 頁) | | | |

(21) 出願番号 特願2002-237163(P2002-237163)

(22) 出願日 平成14年7月12日 (2002.7.12)

(31) 優先権主張番号 1 0 1 3 4 3 8 7. 6

(32) 優先日 平成13年7月14日 (2001.7.14)

(33) 優先権主張国 ドイツ (D E)

(71) 出願人 502010332

エイエスエムエル ネザランドズ ベスロ
ーテン フェンノートシャップ
オランダ国 フェルトホーフエン、 デ
ルン 1110

(74) 代理人 100066692

弁理士 浅村 皓 (外3名)

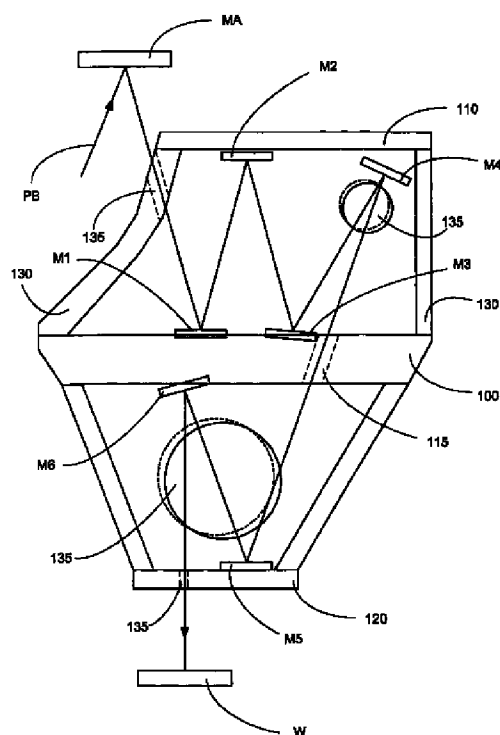
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リソグラフィ装置およびデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 E U Vリソグラフィ装置に必要な高い位置決め精度を達成する投影システムであって、光学要素を取り付けたフレームの冷却および複雑で高価な予測温度補償位置決め制御が不要な投影システムを提供すること。

【解決手段】 本発明によれば、フレームに取り付けられた複数の光学要素またはセンサを投影システムが備えたリソグラフィ投影装置が提供される。フレームが、 $0.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料からなり、それにより高価な冷却システムおよび/または予測温度補償の必要性を回避する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 放射線の投影ビームを提供するための放射システムと、

所望のパターンに従って前記投影ビームにパターンを付けるように働くパターンニング手段を支持するための支持構造と、

基板を保持するための基板テーブルと、

前記パターンを付けられたビームを前記基板のターゲット部分に投影するための投影システムと、

前記投影システムの複数の光学要素および／またはセンサの構成要素を支持するフレームとを有するリソグラフィ投影装置であって、

前記フレームが、 $0.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料から作られていることを特徴とするリソグラフィ投影装置。

【請求項2】 前記材料が、Zerodur（商標）、ULE（商標）、Cordierite（商標）、Astrosital（商標）、およびClearceram-Z（商標）からなる群から選択される請求項1に記載のリソグラフィ装置。

【請求項3】 前記材料の熱膨張係数が、 $0.05 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい請求項1または請求項2に記載のリソグラフィ装置。

【請求項4】 前記材料が、少なくとも 60000MN/m^2 のヤング率Eを有する請求項1、請求項2、または請求項3に記載のリソグラフィ装置。

【請求項5】 前記フレームが、第1のプレートと、少なくとも1つのさらに他のプレートとを有し、該複数のプレートは、離隔された関係で、プレートの表面が互いに向き合うように配置されており、前記少なくとも1つのさらに他のプレートは、スチフナ要素によって前記第1のプレートに取り付けられており、それによって該複数のプレートの曲げ振動が実質的に防止される請求項1から請求項4までのいずれか1項に記載のリソグラフィ装置。

【請求項6】 前記複数の光学要素が前記複数のプレートに取り付けられている請求項5に記載のリソグラフィ装置。

【請求項7】 前記複数の光学要素がミラーである請求項1から請求項6までのいずれか1項に記載のリソグラフィ装置。

【請求項8】 前記複数の光学要素が前記フレーム上に個別に取り付けられている請求項1から請求項7までのいずれか1項に記載のリソグラフィ装置。

【請求項9】 感光性材料の層によって少なくとも部分的に覆われた基板を提供するステップと、放射システムを使用して放射線の投影ビームを提供するステップと、パターンニング手段を使用して、前記投影ビームの断面に

パターンを与えるステップと、

複数の光学要素を使用して、前記パターンを付けられた放射線ビームを感光性材料の層のターゲット部分に投影するステップと、

複数のセンサを使用して前記複数の光学要素の位置を測定するステップとを含むデバイス製造方法であって、前記複数の光学要素または前記複数のセンサがフレーム上に取り付けられており、該フレームが $0.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料から作られたものであることを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、放射線の投影ビームを供給するための放射システムと、所望のパターンに従って投影ビームにパターン付けするように働くパターンニング手段を支持するための支持構造と、基板を保持するための基板テーブルと、前記パターンを付けられたビームを基板のターゲット部分に投影するための投影システムと、複数の前記投影システムの光学要素および／またはセンサの構成要素を支持するフレームとを備えるリソグラフィ投影装置に関する。

【0002】

【従来の技術】本明細書で使用する用語「パターンニング手段」は、基板のターゲット部分に形成するパターンに対応してパターン付けされた断面を入射放射線ビームに与えるために使用することができる手段を表すものと広く解釈すべきである。用語「光パルプ」をこの文脈で使用することもできる。一般に、前記パターンは、集積回路やその他のデバイス（以下参照）などターゲット部分に作成されるデバイス内の特定の機能層に対応している。このようなパターンニング手段の例としては、次のようなものが挙げられる。

（1）マスク

マスクの概念はリソグラフィでよく知られており、二相、交流移相、減衰移相などのマスク・タイプ、ならびに様々なハイブリッド・マスク・タイプを含む。放射線ビーム中にそのようなマスクを配置することにより、マスク上のパターンに従って、マスクに衝突する放射線の選択透過（透過性マスクの場合）または反射（反射性マスクの場合）が生じる。マスクの場合、支持構造は通常マスク・テーブルであり、マスク・テーブルは、入射放射線ビームにおける所望の位置にマスクを保持することができることを保証し、かつ望みであればマスクをビームに対して移動することができることも保証する。

（2）プログラム可能ミラー・アレイ

そのようなデバイスの一例は、粘弾性制御層および反射表面を有するマトリックス・アドレス可能な表面である。そのような装置の背後にある基本原理は、（例えば）反射表面のアドレスされた領域が入射光を回折光と

して反射し、アドレスされていない領域が入射光を非回折光として反射することにある。適切なフィルタを使用して、前記非回折光を反射ビームからフィルタ除去し、後ろに回折光のみを残すことができる。このようにすると、マトリックス・アドレス可能表面のアドレス指定パターンに従ってビームにパターンを付けられるようになる。プログラム可能ミラー・アレイの代替実施形態は、小さなミラーのマトリックス構成を使用したものであり、ミラーはそれぞれ、適切な局所電場を印加することによって、または圧電作動手段を使用することによって、軸に関して個別に傾けることができる。ここでもやはり、ミラーはマトリックス・アドレス可能であり、そのため、アドレスされたミラーは、アドレスされていないミラーと異なる方向に入射放射ビームを反射する。このようにすると、反射されたビームは、マトリックス・アドレス可能ミラーのアドレス・パターンに従ってパターンを付けられる。必要なマトリックス・アドレス指定は、適切な電子手段を使用して実施することができる。本明細書で上述したどちらの状況でも、パターンニング手段は、1つまたは複数のプログラム可能ミラー・アレイを備えることができる。本明細書で言及するミラー・アレイに関するより多くの情報は、例えば参照により本明細書に組み込む米国特許第5296891号および米国特許第5523193号、ならびにPCT特許出願WO98/38597号およびWO98/33096号から得ることができる。プログラム可能ミラー・アレイの場合、前記支持構造を、例えばフレームまたはテーブルとして実施することができ、必要に応じて固定することも、可動にすることもできる。

(3) プログラム可能LCDアレイ

そのような構成の一例は、参照により本明細書に組み込む米国特許第529872号に与えられている。上と同様に、この場合の支持構造も、例えばフレームまたはテーブルとして実施することができ、必要に応じて固定することも、可動にすることもできる。話を簡単にするために、この本文ではここから先、いくつかの箇所でマスクおよびマスク・テーブルに関わる例に特に注目することがある。しかし、そのような例で論じられる一般的な原理は、本明細書で上述したパターンニング手段の、より広い文脈で見るべきである。

【0003】リソグラフィ投影装置は、例えば集積回路(IC)の製造で使用することができる。そのような場合、パターンニング手段は、ICの個々の層に対応する回路パターンを生成することができ、このパターンを、感光性材料(レジスト)の層で被覆されている基板(シリコン・ウェハ)上のターゲット部分(例えば1つまたは複数のダイを備える)に結像することができる。一般に、単一のウェハが、1度に1つずつ投影システムによって連続的に照射される隣接ターゲット部分の回路網全体を含む。マスク・テーブル上のマスクによるパターニ

ングを採用する現行装置では、2つの異なるタイプの機械に区分することができる。1つのタイプのリソグラフィ投影装置では、各ターゲット部分が、マスク・パターン全体を一括してターゲット部分に露光することによって照射される。そのような装置は、一般にウェハ・ステッパと呼ばれる。代替装置(一般にステップ・アンド・スキャン装置と呼ばれる)では、各ターゲット部分が、所与の基準方向(「スキャン」方向)に投影ビーム下でマスク・パターンを漸次スキャンし、それと同時にこの方向に平行に、または反平行に基板テーブルを同期してスキャンすることによって照射される。一般に、投影システムが倍率M(通常、 <1)を有するので、基板テーブルがスキャンされる速度Vは、マスク・テーブルがスキャンされる速度のM倍となる。ここに記述したリソグラフィ・デバイスに関するより多くの情報は、例えば参照により本明細書に組み込む米国特許第6046792号から得ることができる。

【0004】リソグラフィ投影装置を使用する製造プロセスでは、(例えばマスクでの)パターンが、感光性材料(レジスト)の層によって少なくとも部分的に覆われた基板に結像される。このイメージング・ステップの前に、基板にプライミング、レジスト・コーティング、ソフト・ベークなど様々な処置を施すことができる。露光後に、露光後ベーク(PEB)、現像、ハード・ベーク、および結像されたフィーチャの測定/検査など他の処置を基板に施すこともできる。この一連の処置は、例えばICといったデバイスの個々の層にパターンを付けるための基礎として使用される。次いで、そのようなパターン付き層に、エッチング、イオン注入(ドーピング)、メタライゼーション、酸化、化学的機械研磨など様々なプロセスを施すことができる。これらは全て、個々の層を完成させるためのものである。複数の層が必要な場合、手順全体、またはその変形が、各新たな層ごとに繰り返されなければならない。最終的に、デバイスのアレイが基板(ウェハ)上に存在することになる。次いで、これらのデバイスを、ダイシングやソーイングなどの技法によって互いに分離し、個々のデバイスを、例えばキャリアに取り付けるか、またはピンなどに接続することができる。そのようなプロセスに関する詳しい情報は、例えば参照により本明細書に組み込むPeter van Zantの著書「Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing」, 第3版, マグロウヒル出版, 1997, ISBN0-07-067250-4から得ることができる。

【0005】話を簡単にするために、投影システムを本明細書では以後「レンズ」と呼ぶ場合がある。しかし、この用語は、例えば屈折光学系、反射光学系、反射屈折光学系を含めた様々なタイプの投影システムを包含する

ものとして広く解釈すべきである。また、放射システムは、放射線の投影ビームを指向し、成形し、または制御するための、これら設計タイプのいずれかに従って動作する構成要素を含むことができ、そのような構成要素も以下で総称して、または個別に「レンズ」と呼ぶ場合がある。さらに、リソグラフィ装置は、2つ以上の基板テーブル（および／または2つ以上のマスク・テーブル）を有するタイプのものであってよい。そのような「多段」デバイスでは、追加のテーブルを並列に使用することができ、あるいは1つまたは複数のテーブルに関して予備ステップを行い、その一方で1つまたは複数の他のテーブルを露光することができる。二段リソグラフィ装置は、例えば、参照により本明細書に組み込む米国特許第5969441号およびWO98/40791号に記載されている。

【0006】例えば248nmの波長を有する紫外放射線ビームを使用するリソグラフィ投影装置の投影システムは通常、フレームに取り付けられた複数の屈折光学要素を備える。屈折光学要素は、ビームに対して、かつ互いに対して正確に位置決めしなければならない。さらにベース部材の振動から隔離しなければならない。これらの条件は、光学要素が取り付けられるInvar（商標）（コバルト含有鋼）からなるフレームを作成することによって満たすことができる。Invar（商標）は、約 140000 MN/m^2 のヤング率Eを有する金属である。この材料の利点は、投影システムのフレームに必要な比較的複雑な形状に簡単に加工することができ、かつ金属として、個別部品の形で製造し、溶接または金属の接合に使用される他の接合技法によって互いに接合することが簡単にできることである。Invar（商標）の高いヤング率Eは、機械的振動が光学要素に伝達するのを防止するように高い機械的剛性を有するフレームを簡単に設計することができることを意味する。例えばステンレス鋼（これも使用されている）に勝るInvar（商標）のさらなる利点は、比較的低い熱膨張係数を有し、それにより温度安定なリソグラフィ投影装置用の投影システムを生成することである。Invar（商標）の熱膨張係数は約 $1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ であり、これは知られている金属のうちほぼ最小である。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】より小さいサイズのフィーチャを結像する際に常にある要求を満たすために、投影ビームに使用される放射線の波長を低減する必要がある。したがって、極紫外放射線（EUV）（すなわち波長が5～20nmの範囲）を活用するリソグラフィ投影装置の開発にはより良い分解能が必要である。EUVリソグラフィ装置は、EUV用の屈折光学要素を形成するのに適した材料が知られておらず、かつビームの汚染および減衰を回避するためにビームを真空中で維持しなければならないので、投影システム内でミラーを使用し

なければならない。EUVリソグラフィ装置の光学要素の位置決め要件は、紫外線リソグラフィ装置よりかなり厳しい。これは、（a）使用される放射線波長がより小さく、（b）屈折ではなく反射光学要素が使用され、（c）分解能が高い、すなわち結像すべきフィーチャのサイズがより小さいためである。これらの環境下では、必要な位置決め精度が10nm位のオーダーで高い。

【0008】残念ながら、EUVリソグラフィ装置に必要な高い位置決め精度にすると、Invar（商標）からなるフレームに、所望の位置決め精度範囲内で光学要素の位置を維持するためには冷却が必要になるか、または複雑で高価な予測温度補償位置決め制御が必要になることが判明している。

【0009】本発明の目的は、EUVリソグラフィ装置のための要件を満たす投影システムを提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】この目的およびその他の目的は、本発明によれば、冒頭の段落で指定したリソグラフィ装置であって、前記フレームが $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料からなることを特徴とする装置で達成される。

【0011】したがって、フレーム上に取り付けられた光学要素の位置の安定性に対する温度変動の作用について妥協することなく、光学要素ごとの複雑な予測温度補償位置決め手段の必要性も、重く嵩張る複雑な冷却システムの必要性も回避される。

【0012】従来、ガラス・セラミック材料は、1つには金属に比べて加工および接合が困難であるため、1つには金属に比べて剛性が低いため、リソグラフィ装置における構造要素として使用するには適さないと考えられていた。また、脆弱で高価であり、衝撃に対する抵抗が低い。しかし、注意深く設計することにより、そのような材料を、以前からリソグラフィ装置における構造要素に使用されているステンレス鋼、Invar（商標）、または他の金属よりもいくぶんヤング率Eが低いにもかかわらず使用することが可能になる。用語「ガラス・セラミック」は、ガラスとセラミックの合成物であり、しかしガラスでもセラミックでもない材料を表すために当技術分野で使用される用語である。

【0013】ガラス・セラミックスを使用するさらに驚くべき利点はいくつかある。それらのうち第1のものは、赤外範囲内での電磁放射線に関する放出係数が大きいことである。この係数は、ステンレス鋼またはInvar（商標）の少なくとも5～10倍である。これは、ガラス・セラミックスが、EUV装置の（真空中での）周囲温度に比較的簡単に適合することを意味する。したがって、本発明のフレームの温度は、制御が必要であると考えられる場合には（例えばフレーム上の感知手段が

温度感受性のものであれば)、より簡単に制御される。別の利点は、ガラス・セラミックスが金属よりも良い真空適合性を有し、そして金属と異なって、放出されると真空中に害を及ぼす可能性のある表面上の微分子を吸収する傾向がない。

【0014】好ましくは、材料が、少なくとも 60000 MN/m^2 のヤング率 E を有する。そのような材料を用いると、注意深い設計によって、リソグラフィ装置内で通常存在する寄生振動を受けないフレームを形成することができる。設計要件に合わせてフレームを形成することができる材料は、ULE (商標) ガラス (製造元は Corning Incorporated, 1 River Front Plaza, Corning, NY 14831)、Zerodur (商標) (製造元は Schott Glas, Hattenbergstrasse 1055120, Mainz, Germany)、および Low CTE Cordierite (商標) (製造元は京セラ株式会社、郵便番号 612-8501 京都市伏見区竹田鳥羽殿町6)を含む。Clearceram-Z (商標) (製造元はオハラグループ、足柄光学株式会社、郵便番号 228-0021 神奈川県足柄上郡開成町吉田島4292) および Russian glass ceramic Astrosital (商標) が Zerodur (商標) の代替であり、これらも使用することができる。

【0015】好ましくは、フレームが、第1のプレートおよび少なくとも1つのさらなるプレートを備え、前記プレート同士が、隔離された関係にあり、前記プレート同士の表面が互いに面するように配置され、前記少なくとも1つのさらなるプレートが、補強材要素(スチフナ要素)によって前記第1のプレートに取り付けられ、それにより前記プレートの曲げ振動を実質的に防止する。そのような構成は、 $0.1 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ 未満の熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料からなるそのようなフレームの組立てに、フレームの部材間で比較的少数の接合しか必要ないので有利である。プレートを使用する問題、すなわちプレートが曲げ振動を受けやすいという問題は、プレート間に補強材要素を使用することによって克服される。好ましくは補強材要素がプレートの縁部間に提供され、しかしいずれにせよコーナにある。好ましくは、光学要素がプレートに取り付けられる。

【0016】本発明の他の観点によれば、感光性材料の層によって少なくとも部分的に覆われた基板を提供するステップと、放射システムを使用して放射線の投影ビームを提供するステップと、パターンニング手段を使用して、投影ビームの断面にパターンを与えるステップと、複数の光学要素を使用して、前記パターンを付けられた放射線ビームを感光性材料の層のターゲット部分に投影するステップと、センサを使用して前記光学要素の位置を測定するステップとを含むデバイス製造方法であつ

て、前記光学要素または前記センサがフレーム上に取り付けられており、前記フレームが、 $0.1 \times 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ 未満またはその値にほぼ等しい熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料からなることを特徴とする方法が提供される。

【0017】この明細書では、本発明による装置のIC製造についての使用に特に言及する場合があるが、そのような装置が多く他の可能な適用例も有することをはっきりと理解されたい。例えば、集積光学系、磁区メモリのための誘導および検出パターン、液晶表示パネル、薄膜磁気ヘッドなどの製造に使用することができる。そのような代替適用例の文脈では、この本文における用語「焦点板」、「ウェハ」、または「ダイ」の使用を、より一般的な用語「マスク」、「基板」、および「ターゲット部分」でそれぞれ置き換えられるものとみなすべきであることを当業者は理解されよう。

【0018】この文書では、用語「放射線」および「ビーム」を、紫外放射線(例えば波長が365、248、193、157、または126nmのもの)および極紫外(EUV)放射線(例えば5~20nm、特に13nm付近の波長を有するもの)、ならびにイオン・ビームや電子ビームなどの粒子ビームを含めた全てのタイプの電磁放射線を包含するものとして使用する。

【0019】次に、本発明の実施形態を、添付の概略図面を参照しながら単に例として説明する。

【0020】図中、対応する参照符号が、対応する部分を示す。

【0021】

【発明の実施の形態】(実施形態1)図1は、本発明のある特定の実施形態によるリソグラフィ投影装置を概略的に示す。この装置は、以下のものを備える。

(1)放射線(例えばEUV放射線)の投影ビームPBを供給するための放射システムEx、IL。この特定の場合には、放射線源LAも備える。

(2)マスクMA(例えば焦点板)を保持するためのマスク・ホルダを備え、アイテムPLに対してマスクを正確に位置決めするための第1の位置決め手段PMに接続された第1のオブジェクト・テーブル(対象物テーブルまたはマスク・テーブル)MT。

(3)基板W(例えばレジスト被覆シリコン・ウェハ)を保持するための基板ホルダを備え、アイテムPLに対して基板を正確に位置決めするための第2の位置決め手段PWに接続された第2のオブジェクト・テーブル(対象物テーブルまたは基板テーブル)WT。

(4)複数の光学要素すなわちミラーを使用して、基板Wのターゲット部分C(例えば、1つまたは複数のダイを備える)にマスクMAの照射部分を結像するための投影システム(「レンズ」)PL(例えば、ミラー系)。本明細書で示すように、この装置は、反射性タイプの(例えば反射性マスクを有する)ものである。しかし

般には、例えば透過性タイプの（例えば、透過性マスクを有する）ものであってもよい。別法として、この装置は、上で言及したタイプのプログラム可能ミラー・アレイなど別の種類のパターニング手段を使用することができる。

【0022】放射線源LA（例えば、レーザ発生または放電プラズマ源）は放射線ビームを発生する。このビームは、直接的に、または例えばビーム拡大器Exなどの調整手段を横切った後に、照明システム（照明器）ILに供給される。照明器ILは、ビームの強度分布の外側および／または内側放射範囲（一般にそれぞれ σ 外側および σ 内側と呼ばれる）を設定するための調節手段AMを備えることができる。さらに、一般には、積分器INや集光レンズCOなど様々な他の構成要素も備える。このようにして、マスクMAに衝突するビームPBが、その断面で所望の均一性および強度分布を有するようにする。

【0023】図1に関して、放射線源LAは（例えば放射線源LAが水銀ランプであるときにしばしばそうであるように）リソグラフィ投影装置のハウジング内部にある場合があり、しかしリソグラフィ投影装置から離れていて、生成する放射線ビームが（例えば適切な方向付けミラーによって）装置内に導かれる場合もあることに留意されたい。この後者のシナリオは、放射線源LAがエキシマ・レーザであるときにしばしばそうである。本発明および特許請求の範囲はこれら両方のシナリオを包含する。

【0024】ビームPBはその後、マスク・テーブルMT上に保持されているマスクMAに交差する。ビームPBは、マスクMAを横切ると、レンズPLを通過し、レンズPLが、基板Wのターゲット部分CにビームPBの焦点を合わせる。第2の位置決め手段PW（および干渉計測定手段IF）によって、基板テーブルWTを、例えばビームPBの経路内に様々なターゲット部分Cを位置決めするように正確に移動することができる。同様に、第1の位置決め手段PMを使用して、例えばマスク・ライブラリからマスクMAを機械的に検索した後、またはスキャン中に、ビームPBの経路に対してマスクMAを正確に位置決めすることができる。一般に、オブジェクト・テーブルMT、WTの移動は、図1には明示していない長ストローク・モジュール（粗い位置決め）と短ストローク・モジュール（精密位置決め）とを用いて実現される。しかし（ステップ・アンド・スキャン装置と異なり）、ウェハ・ステッパの場合には、マスク・テーブルMTを短ストローク・アクチュエータにのみ接続すること、または固定することができる。

【0025】図示した装置は、2つの異なるモードで使用することができる。

1. ステップ・モードでは、マスク・テーブルMTが本質的に静止して保たれ、マスク・イメージ全体が、ター

ゲット部分Cに1度に（すなわちただ1回の「フラッシュ」で）投影される。次いで、基板テーブルWTがxおよび／またはy方向にシフトされ、それにより別のターゲット部分CをビームPBによって照射することができる。

2. スキャン・モードでは、所与のターゲット部分Cがただ1回の「フラッシュ」で露光されない点を除き、本質的に同じシナリオが適用される。1回のフラッシュで露光するのではなく、マスク・テーブルMTが速度vで所与の方向（いわゆる「スキャン方向」、例えばy方向）に移動可能であり、それにより投影ビームPBがマスク・イメージ全体にわたってスキャンするようになっている。それと並行して、基板テーブルWTが、速度 $V = Mv$ で同方向または逆方向に同時に移動される。ここでMはレンズPLの倍率である（典型的には $M = 1/4$ または $1/5$ ）。このようにすると、分解能を損なわずに、比較的大きなターゲット部分Cを露光することができる。

【0026】投影システムPLの光学要素が、図2に例示されるフレーム10に取り付けられる。

【0027】投影ビームPBは、図示されるように、フレーム10の上部から投影システムPLに入り、フレーム10の底部から出る。複数の光学要素（M1～M6）がフレーム10の内部に支持されており、ビームがフレーム10の底部を通して出る前に、ビームに対して作用する。EUVリソグラフィ装置の光学要素は反射性のものであり、参照により本明細書に組み込む欧州特許出願第01310781.8号に記載される様式でフレーム10に取り付けることができる。投影ビームPBが入った位置から出る位置までのフレーム10の全長は約1.2～1.4mであり、焦点板から基板までの距離は約1.5mである。

【0028】以前は（すなわち248または193nmの波長を使用するリソグラフィ投影装置では）、フレーム10は、容易に機械加工され、溶接により組み立てることができる金属から作成された。ステンレス鋼、およびより近年ではInvar（商標）が使用されており、Invar（商標）は、剛性が高く、熱膨張係数が低い（金属に比べて）ので特に適している。しかし、熱冷却または予測温度制御を用いないと、EUVリソグラフィ装置の熱安定性要件をそのようなフレームに適合させることができないことが判明している。

【0029】本発明によれば、 $0.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満の熱膨張係数を有するガラス・セラミック材料のフレーム10を作成することが提案されている。より好ましくは、フレーム10の材料が、 0.05×10^{-6} または $0.02 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$ 未満の熱膨張係数を有する。残念ながら、現在知られている金属には、必要とされる剛性と共にこの範囲内の熱膨張係数を有するものがなく、これが、フレーム10をガラス・セラミック材料から作成

する理由である。

【0030】望ましくない振動にフレーム10が抵抗できるように、フレーム10を硬くしなければならない。理論的には、必要とされるフレーム剛性は、単にフレーム10の個々の部材をより厚くすることにより、多くの材料によって達成することができる。しかし、フレームの材料が高いヤング率Eおよび低い密度を有する場合、フレーム10をより軽くかつより嵩張らないようにすることができるのでこれが好ましい。

【0031】低い熱膨張係数のガラス・セラミック材料が本発明のフレーム10に最も良く適することが判明し

ている。そのようなガラス・セラミックの一例は、ガラスとセラミックの合成物であり、しかしガラスでもセラミックでもないULE（商標）、Zerodur（商標）、およびCordierite（商標）、Clearceram-Z（商標）、またはAstrosital（商標）（Sital1、Sital1 CO-115M、およびAstrosital1としても知られている）である。ステンレス鋼およびInvar（商標）の機械的特性と比較したそのような材料の機械的特性が表1に与えられている。

【表1】

表1

| 材料 | E Mn/m ² (MPa=10 ⁶ N/m ²) | 熱膨張係数 K ⁻¹ | 密度 kg/m ³ | 赤外範囲での 電磁放射線に 関する 放出係数 |
|------------------|---|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| ステンレス鋼 | 200000 | 10 × 10 ⁻⁶ | 7700 | 0.1~0.2 |
| Invar（商標） | 140000 | 1 × 10 ⁻⁶ | 8100 | 0.1~0.25 |
| ULE（商標） | 70000 | 0.01 × 10 ⁻⁶ | 2200 | 0.8 |
| Zerodur（商標） | 90000 | < 0.05 × 10 ⁻⁶ | 2500 | 0.8 |
| Cordierite（商標） | 140000 | 0.05 × 10 ⁻⁶ | 2600 | 0.8 |
| Astrosital（商標） | 90000 | 0.03 × 10 ⁻⁶ | 2500 | 0.8 |
| Clearceram-Z（商標） | 90300 | 0.03 × 10 ⁻⁶ | 2550 | 0.8 |

【0032】ULE（商標）は、火炎加水分解によって製造されるチタン珪酸塩ガラス・セラミックである。この材料は、約7重量%の量で存在するTiO₂を有するSiO₂をベースにしている。Zerodur（商標）を含めた他の低膨張ガラスは、SiO₂と、Na₂O、Li₂O、K₂Oなど少なくとも1つのアルカリ金属酸化物とをベースにしている。Cordierite（商標）は、MgO、Al₂O₃、およびSiO₂をベースにしている。

【0033】表1からわかるように、フレームに適した材料は、少なくとも60000MN/m²のヤング率Eを有するガラス・セラミック材料である。しかしながら、この要件を満たすいくつかのセラミックもまた存在する。

【0034】図2からわかるように、フレーム10は、複数のガラス・セラミック部片から製造される。好ましい実施形態では、ガラス・セラミック材料はZerodur（商標）である。フレーム10の個別部片が、接着、フリッティング（接合すべき部片間に接着材料が配置される高温での接着）、融合によって、またはボルトを使用することによって接続される。したがって、温度に伴う経時的なフレーム10の伸長は、通常使用されるタイプのステンレス鋼に比べて200分の1に低減する。

【0035】フレーム10は、任意の適切な様式で構成することができる。好ましい実施形態では、フレーム10が、中心の第1のプレート100と、2つのさらなるプレート110、120とを含む3つの概して平行なプレートからなり、2つのさらなるプレート110、12

0は、中心の第1のプレート100に対して離隔された関係で位置決めされており、主面の一方が中心の第1のプレート100の主面に面している。

【0036】プレートは振動を受けやすくなっている可能性があり、したがってプレート100、110、120は、さらなるプレート110、120の一方の縁部と中心プレート100の縁部との間に延在するスチフナ要素130を使用して一体に接続される。好ましい実施形態では、スチフナ要素130がプレートの縁部の全長に沿って延在し（すなわち要素130がプレートの形であり）、しかし必要な剛性は、スチフナ要素130がプレート100、110、120のコナ間に延在しているだけであっても達成可能であり、例えばプレートを連結するバーの形であってもよい。

【0037】好ましくは、光学要素がプレート100、110、120に取り付けられる。プレート100、110、120とスチフナ要素130との両方にあるスルー・ホール115、135によって、投影ビームPBがフレーム10に入ることができ、また、ガス、空気などのユーティリティを光学要素の位置決め手段に提供すること、およびフレーム10内部のセンサなどを可能にする。光学要素への接近を容易にするために、スチフナ要素130および/またはプレート100、110、120に取外し可能なアクセス・パネルがあってもよい。

【0038】フレーム10を光学要素の支持に関連して説明してきたが、フレーム10は、光学要素の位置を検出するための様々なセンサの構成要素を支持していてもよい。しかし、本発明は、上述した投影システムの支持フレームから離隔された光学要素の位置を検出するため

130 スチフナ要素

LA 放射線源

MA マスク

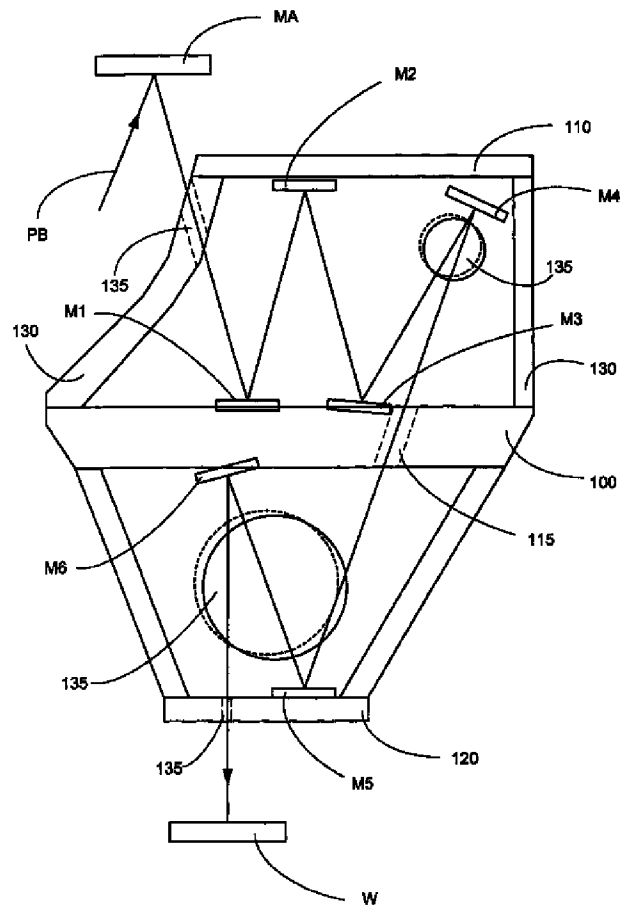
PB 投影ビーム

PL 投影システム

WT 基板テーブル

100、110、120 プレート

【図 2】



フロントページの続き

- | | |
|--|---|
| <p>(71)出願人 501481425 カール ツァイス セミコンダクター マ ニュファクチャリング テクノロジーズ アーゲー ドイツ連邦共和国、 73447 オベルコッ ヘン、 カール・ツァイス・ストラッセ 22</p> | <p>(72)発明者 アントニウス ヨハannes ヨセフス フ アン ディユセルドンク オランダ国 ハペルト、フェンブローク 22</p> |
| <p>(72)発明者 エリク ローロフ ロープストラ オランダ国 ヘーゼ、ホディパルデウスラ ー 15</p> | <p>(72)発明者 ヨハannes フベルトゥス ヨセフィナ モールス オランダ国 ヘルモンド、ディエルドンク ラー 56</p> |
| <p>(72)発明者 ドミニカス ヤコプス ペトリュス アド リアヌス フランケン オランダ国 フェルトホーフエン、ショウ ベルグ 5</p> | <p>(72)発明者 アルブレヒト ホフ ドイツ連邦共和国 アーレン、ロールヴァ ンクシュトラーセ 12</p> |
| <p>(72)発明者 ヨセフス ヤコプス スミッツ オランダ国 ゲルドロプ、スレードルン 16</p> | <p>(72)発明者 ギュンター マオル ドイツ連邦共和国 アーレン、アオフ デ ル ハイデ 40</p> |
| | <p>(72)発明者 ミカエル ミュールバイヤー ドイツ連邦共和国 アーレン、シューマン シュトラーセ 39</p> |

(72)発明者 クラウス メールコップ
ドイツ連邦共和国 アルスドルフ、ヨーゼ
フ - フォン - フラウンホーファー
- シュトラッセ 3ベール

F ターム(参考) 2H043 CD01 CE00
5F046 BA05 CB02 CB25 GA03 GB01

1 Title of Invention

Lithographic Apparatus and Device Manufacturing Method

2 Claims

1. A lithographic projection apparatus comprising:
 - a radiation system for providing a projection beam of radiation;
 - a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;
 - a substrate table for holding a substrate;
 - a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
 - a frame supporting a plurality of optical elements of said projection system and/or components of sensors,characterized in that said frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.
2. An apparatus according to claim 1, wherein said material is selected from the group containing Zerodur (TM), ULE (TM), Cordierite (TM), Astrosital (TM) and Clearceram-Z (TM).
3. An apparatus according to claim 1 or 2, wherein the coefficient of thermal expansion of said material is less than or approximately equal to $0.05 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.
4. An apparatus according to claim 1, 2 or 3, wherein said material has a Young's Modulus, E, of at least 60 000 MN/m².
5. An apparatus according to any one of the preceding claims, wherein said frame comprises a first plate and at least one further plate, said plates being in spaced apart relationship and arranged such that surfaces of said plates face each other, said at least one further plate being attached to said first plate by stiffener elements thereby substantially to prevent flexing vibrations of said plates.

6. An apparatus according to claim 5, wherein said optical elements are attached to said plates.

7. An apparatus according to any one of the preceding claims, wherein said optical elements are mirrors.

8. An apparatus according to any one of the preceding claims, wherein said optical elements are independently mounted on said frame.

9. A device manufacturing method comprising the steps of:

- providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
 - providing a projection beam of radiation using a radiation system;
 - using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
 - using a plurality of optical elements to project the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,
 - measuring the position of said optical elements using sensors,
 - wherein said optical elements or said sensors are mounted on a frame,
- characterized in that said frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

3 Detailed Description of Invention

The present invention relates to a lithographic projection apparatus comprising:

- a radiation system for supplying a projection beam of radiation;
 - a support structure for supporting patterning means, the patterning means serving to pattern the projection beam according to a desired pattern;
 - a substrate table for holding a substrate;
 - a projection system for projecting the patterned beam onto a target portion of the substrate; and
- a frame supporting a plurality of optical elements of said projection system and/or components of sensors,

The term “patterning means” as here employed should be broadly interpreted as referring to means that can be used to endow an incoming radiation beam with a patterned cross-section, corresponding to a pattern that is to be created in a target portion of the substrate; the term “light valve” can also be used in this context. Generally, the said pattern will correspond to a particular functional layer in a device being created in the target portion, such as an integrated circuit or other device (see below). Examples of such patterning means include:

- A mask. The concept of a mask is well known in lithography, and it includes mask types such as binary, alternating phase-shift, and attenuated phase-shift, as well as various hybrid mask types. Placement of such a mask in the radiation beam causes selective transmission (in the case of a transmissive mask) or reflection (in the case of a reflective mask) of the radiation impinging on the mask, according to the pattern on the mask. In the case of a mask, the support structure will generally be a mask table, which ensures that the mask can be held at a desired position in the incoming radiation beam, and that it can be moved relative to the beam if so desired.
- A programmable mirror array. One example of such a device is a matrix-addressable surface having a viscoelastic control layer and a reflective surface. The basic principle behind such an apparatus is that (for example) addressed areas of the

reflective surface reflect incident light as diffracted light, whereas unaddressed areas reflect incident light as undiffracted light. Using an appropriate filter, the said undiffracted light can be filtered out of the reflected beam, leaving only the diffracted light behind; in this manner, the beam becomes patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable surface. An alternative embodiment of a programmable mirror array employs a matrix arrangement of tiny mirrors, each of which can be individually tilted about an axis by applying a suitable localized electric field, or by employing piezoelectric actuation means. Once again, the mirrors are matrix-addressable, such that addressed mirrors will reflect an incoming radiation beam in a different direction to unaddressed mirrors; in this manner, the reflected beam is patterned according to the addressing pattern of the matrix-addressable mirrors. The required matrix addressing can be performed using suitable electronic means. In both of the situations described hereabove, the patterning means can comprise one or more programmable mirror arrays. More information on mirror arrays as here referred to can be gleaned, for example, from United States Patents US 5,296,891 and US 5,523,193, and PCT patent applications WO 98/38597 and WO 98/33096, which are incorporated herein by reference. In the case of a programmable mirror array, the said support structure may be embodied as a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required.

- A programmable LCD array. An example of such a construction is given in United States Patent US 5,229,872, which is incorporated herein by reference. As above, the support structure in this case may be embodied as a frame or table, for example, which may be fixed or movable as required.

For purposes of simplicity, the rest of this text may, at certain locations, specifically direct itself to examples involving a mask and mask table; however, the general principles discussed in such instances should be seen in the broader context of the patterning means as hereabove set forth.

Lithographic projection apparatus can be used, for example, in the manufacture of integrated circuits (ICs). In such a case, the patterning means may generate a circuit pattern corresponding to an individual layer of the IC, and this pattern can be imaged onto a target portion (e.g. comprising one or more dies) on a substrate (silicon wafer) that has been coated with a layer of radiation-sensitive material (resist). In general, a single wafer will contain a whole network of adjacent target portions that are

successively irradiated via the projection system, one at a time. In current apparatus, employing patterning by a mask on a mask table, a distinction can be made between two different types of machine. In one type of lithographic projection apparatus, each target portion is irradiated by exposing the entire mask pattern onto the target portion in one go; such an apparatus is commonly referred to as a wafer stepper. In an alternative apparatus —commonly referred to as a step-and-scan apparatus — each target portion is irradiated by progressively scanning the mask pattern under the projection beam in a given reference direction (the "scanning" direction) while synchronously scanning the substrate table parallel or anti-parallel to this direction; since, in general, the projection system will have a magnification factor M (generally < 1), the speed V at which the substrate table is scanned will be a factor M times that at which the mask table is scanned. More information with regard to lithographic devices as here described can be gleaned, for example, from US 6,046,792, incorporated herein by reference.

In a manufacturing process using a lithographic projection apparatus, a pattern (e.g. in a mask) is imaged onto a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material (resist). Prior to this imaging step, the substrate may undergo various procedures, such as priming, resist coating and a soft bake. After exposure, the substrate may be subjected to other procedures, such as a post-exposure bake (PEB), development, a hard bake and measurement/inspection of the imaged features. This array of procedures is used as a basis to pattern an individual layer of a device, e.g. an IC. Such a patterned layer may then undergo various processes such as etching, ion-implantation (doping), metallization, oxidation, chemo-mechanical polishing, etc., all intended to finish off an individual layer. If several layers are required, then the whole procedure, or a variant thereof, will have to be repeated for each new layer. Eventually, an array of devices will be present on the substrate (wafer). These devices are then separated from one another by a technique such as dicing or sawing, whence the individual devices can be mounted on a carrier, connected to pins, etc. Further information regarding such processes can be obtained, for example, from the book "Microchip Fabrication: A Practical Guide to Semiconductor Processing", Third Edition, by Peter van Zant, McGraw Hill Publishing Co., 1997, ISBN 0-07-067250-4, incorporated herein by reference.

For the sake of simplicity, the projection system may hereinafter be referred to as the "lens"; however, this term should be broadly interpreted as encompassing various types of projection system, including refractive optics, reflective optics, and catadioptric systems, for example. The radiation system may also include components operating

according to any of these design types for directing, shaping or controlling the projection beam of radiation, and such components may also be referred to below, collectively or singularly, as a "lens". Further, the lithographic apparatus may be of a type having two or more substrate tables (and/or two or more mask tables). In such "multiple stage" devices the additional tables may be used in parallel, or preparatory steps may be carried out on one or more tables while one or more other tables are being used for exposures. Dual stage lithographic apparatus are described, for example, in US 5,969,441 and WO 98/40791, incorporated herein by reference.

The projection system of a lithographic projection apparatus which uses a beam of ultra-violet radiation with a wavelength of, for example, 248 nm, typically comprises a plurality of refractive optical elements mounted to a frame. The refractive optical elements must be positioned accurately relative to the beam and to one another and must be isolated from vibrations of the base member. These conditions can be met by making the frame to which the optical elements are mounted of Invar (TM) (a cobalt containing steel). Invar (TM) is a metal with a Young's Modulus, E , of about 140 000 MN/m². The advantage of this material is that it is easy to machine into the relatively complicated shapes required of the frame of the projection system and, as a metal, can easily be manufactured in separate parts and joined together by welding or other joining techniques used for joining metals. The high Young's Modulus, E , of Invar (TM) means that a frame which has a high mechanical stiffness to prevent mechanical vibrations being transmitted to the optical elements can easily be designed. A further advantage of Invar (TM) over, for example, stainless steel (which has also been used) is that it has a relatively low coefficient of thermal expansion thereby resulting in a projection system for a lithographic projection apparatus which is temperature stable. The coefficient of thermal expansion of Invar (TM) is about $1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ which is about the lowest of any known metal.

To meet the ever-present demand for imaging features of reduced size, it is necessary to reduce the wavelength of radiation used for the projection beam. Thus, improved resolution requires the development of lithographic projection apparatus making use of extreme ultra-violet radiation (EUV) (i.e. with a wavelength in the range of 5-20 nm). An EUV lithography apparatus must use mirrors in the projection system because no material suitable for forming refractive optical elements for EUV is known and the beam must be kept in vacuum to avoid contamination and attenuation of the beam. The positioning requirements of the optical elements of EUV lithography apparatus are

considerably more stringent than those of ultra-violet lithography apparatus because: (a) the smaller wavelength of radiation which is used, (b) reflective rather than refractive optical elements are used, and (c) the increased resolution, i.e. the smaller size of the features to be imaged. Under these circumstances, the required positioning accuracy increases to the order of 10 nm or so.

Unfortunately, with the increased positioning accuracy required in EUV lithography apparatus it has been found that a frame made of Invar (TM) either requires cooling to maintain the position of the optical elements within the desired positional accuracy or requires predictive temperature compensating positioning control, which is complicated and expensive

It is an object of the present invention to provide a projection system which meets the requirements for EUV lithography apparatus.

This and other objects are achieved according to the invention in a lithographic apparatus as specified in the opening paragraph, characterized in that said frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Thus, the need for either complicated predictive temperature compensation positioning means for each optical element or the need for heavy, bulky and intricate cooling systems is avoided without compromising on the effect of temperature fluctuations on the stability of the position of the optical elements mounted on the frame.

Traditionally glass ceramic materials have been seen as not being suitable for use as structural elements in a lithography apparatus partly because of the difficulty in machining and joining them compared metals and partly because of their lower stiffness compared to metals. They are also brittle and expensive and have low resistance to shock. However, careful design allows such materials to be used despite their Young's Modulus, E, being somewhat lower than that of stainless steel, Invar (TM) or other metals which have previously been used for structural elements in lithography apparatus. The term "glass ceramic" is a term used in the field to describe a material which is a combination of a glass and a ceramic but which is neither a glass nor a ceramic.

There are further surprising advantages to using glass ceramics. The first of these is their large emission coefficient for electromagnetic radiation in the infrared range.

This coefficient is at least a factor of 5-10 times larger than that for stainless steel or Invar (TM). This means that glass ceramics adapt more easily to the surrounding temperature in (the vacuum) of an EUV apparatus. Thus, the temperature of the frame of the present invention is more easily controlled if such control is found to be necessary (for instance if the sensing means on the frame are temperature sensitive). Another advantage is that glass ceramics have better vacuum compatibility than metals as unlike metals they do not tend to absorb molecules on their surface which can be detrimental to a vacuum when they de-absorb.

Preferably the material has a Young's Modulus, E, of at least 60,000 MN/m². With such a material, a frame can be built which does not suffer from parasitic vibrations typically present in a lithography apparatus by careful design. Materials from which the frame may be built to the design requirements include ULE (TM) glass (manufactured by Corning Incorporated, 1 River Front Plaza, Corning, NY 14831), Zerodur (TM) (manufactured by Schott Glass, Hattenbergstraße 10 55120, Mainz, Germany) and Low CTE Cordierite(TM) (manufactured by Kyocera Corporation, 6 Takeda Tobadono-cho, Fushimi-ku, Kyoto 612-8501 Japan). Clearceram-Z (TM) (manufactured by Ohara group, Ashigara Optical Inc., 4292 Yoshidajima Ashigara Kami Gun, Knagawa, 228-0021, Japan) and the Russian glass ceramic Astrosital (TM) are variants of Zerodur (TM) and may also be used.

Preferably the frame comprises a first plate and at least one further plate, said plates being in spaced apart relationship and arranged such that surfaces of said plates face each other, said at least one further plate being attached to said first plate by stiffener elements thereby substantially to prevent flexing vibration of said plates. Such a construction is advantageous as the assembly of such a frame from a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ requires relatively few joints between members of the frame. The problem of using plates, namely their susceptibility to flexing vibration is overcome by the use of stiffener elements between the plates. Preferably the stiffener elements are provided between the edges of the plates but in any case at the corners. Preferably the optical elements are attached to the plates.

According to a further aspect of the invention there is provided a device manufacturing method comprising the steps of:

- providing a substrate that is at least partially covered by a layer of radiation-sensitive material;
- providing a projection beam of radiation using a radiation system;

- using patterning means to endow the projection beam with a pattern in its cross-section;
 - using a plurality of optical elements to project the patterned beam of radiation onto a target portion of the layer of radiation-sensitive material,
 - measuring the position of said optical elements using sensors,
 - wherein said optical elements or said sensors are mounted on a frame,
- characterized in that said frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Although specific reference may be made in this text to the use of the apparatus according to the invention in the manufacture of ICs, it should be explicitly understood that such an apparatus has many other possible applications. For example, it may be employed in the manufacture of integrated optical systems, guidance and detection patterns for magnetic domain memories, liquid-crystal display panels, thin-film magnetic heads, etc. The skilled artisan will appreciate that, in the context of such alternative applications, any use of the terms "reticle", "wafer" or "die" in this text should be considered as being replaced by the more general terms "mask", "substrate" and "target portion", respectively.

In the present document, the terms "radiation" and "beam" are used to encompass all types of electromagnetic radiation, including ultraviolet radiation (*e.g.* with a wavelength of 365, 248, 193, 157 or 126 nm) and extreme ultra-violet (EUV) radiation (*e.g.* having a wavelength in the range 5-20 nm, especially around 13 nm), as well as particle beams, such as ion beams or electron beams.

An embodiment of the invention will now be described, by way of example only, with reference to the accompanying schematic drawings in which:

In the Figures, corresponding reference symbols indicate corresponding parts.

Embodiment 1

Figure 1 schematically depicts a lithographic projection apparatus according to a particular embodiment of the invention. The apparatus comprises:

- a radiation system Ex, IL, for supplying a projection beam PB of radiation (*e.g.* EUV radiation), which in this particular case also comprises a radiation source LA;
- a first object table (mask table) MT provided with a mask holder for holding a mask MA (*e.g.* a reticle), and connected to first positioning means PM for accurately positioning the mask with respect to item PL;
- a second object table (substrate table) WT provided with a substrate holder for holding a substrate W (*e.g.* a resist-coated silicon wafer), and connected to second positioning means PW for accurately positioning the substrate with respect to item PL;
- a projection system ("lens") PL (*e.g.* mirror system) for imaging an irradiated portion of the mask MA onto a target portion C (*e.g.* comprising one or more dies) of the substrate W using a plurality of optical elements *i.e.* mirrors. As here depicted, the apparatus is of a reflective type (*e.g.* has a reflective mask). However, in general, it may also be of a transmissive type, for example (*e.g.* with a transmissive mask). Alternatively, the apparatus may employ another kind of patterning means, such as a programmable mirror array of a type as referred to above.

The source LA (*e.g.* a laser-produced or discharge plasma source) produces a beam of radiation. This beam is fed into an illumination system (illuminator) IL, either directly or after having traversed conditioning means, such as a beam expander Ex, for example. The illuminator IL may comprise adjusting means AM for setting the outer and/or inner radial extent (commonly referred to as σ -outer and σ -inner, respectively) of the intensity distribution in the beam. In addition, it will generally comprise various other components, such as an integrator IN and a condenser CO. In this way, the beam PB impinging on the mask MA has a desired uniformity and intensity distribution in its cross-section.

It should be noted with regard to Figure 1 that the source LA may be within the housing of the lithographic projection apparatus (as is often the case when the source LA is a mercury lamp, for example), but that it may also be remote from the lithographic projection apparatus, the radiation beam which it produces being led into the apparatus

(e.g. with the aid of suitable directing mirrors); this latter scenario is often the case when the source LA is an excimer laser. The current invention and Claims encompass both of these scenarios.

The beam PB subsequently intercepts the mask MA, which is held on a mask table MT. Having traversed the mask MA, the beam PB passes through the lens PL, which focuses the beam PB onto a target portion C of the substrate W. With the aid of the second positioning means PW (and interferometric measuring means IF), the substrate table WT can be moved accurately, *e.g.* so as to position different target portions C in the path of the beam PB. Similarly, the first positioning means PM can be used to accurately position the mask MA with respect to the path of the beam PB, *e.g.* after mechanical retrieval of the mask MA from a mask library, or during a scan. In general, movement of the object tables MT, WT will be realized with the aid of a long-stroke module (course positioning) and a short-stroke module (fine positioning), which are not explicitly depicted in Figure 1. However, in the case of a wafer stepper (as opposed to a step-and-scan apparatus) the mask table MT may just be connected to a short stroke actuator, or may be fixed.

The depicted apparatus can be used in two different modes:

1. In step mode, the mask table MT is kept essentially stationary, and an entire mask image is projected in one go (*i.e.* a single “flash”) onto a target portion C. The substrate table WT is then shifted in the x and/or y directions so that a different target portion C can be irradiated by the beam PB;
2. In scan mode, essentially the same scenario applies, except that a given target portion C is not exposed in a single “flash”. Instead, the mask table MT is movable in a given direction (the so-called “scan direction”, *e.g.* the y direction) with a speed v , so that the projection beam PB is caused to scan over a mask image; concurrently, the substrate table WT is simultaneously moved in the same or opposite direction at a speed $V = Mv$, in which M is the magnification of the lens PL (typically, $M = 1/4$ or $1/5$). In this manner, a relatively large target portion C can be exposed, without having to compromise on resolution.

The optical elements of the projection system PL are mounted to a frame 10 which is illustrated in Figure 2.

The projection beam PB enters the projection system PL at the top of the frame 10 and exits at the bottom of the frame 10 as illustrated. A plurality of optical elements (M1-M6) are supported, on the inside of the frame 10 which operate on the beam

before the beam exits through the bottom of the frame 10. The optical elements of an EUV lithography apparatus are reflective and may be mounted to the frame 10 in a way as described in European Patent Application No. 01310781.8, incorporated herein by reference. The overall length of the frame 10 from where the projection beam PB enters to where it exits, is about 1.2 to 1.4 m and the distance from reticle to substrate about 1.5 m.

Previously (i.e. for lithographic projection apparatus using wavelengths of 248 or 193 nm) the frame 10 has been made of metal which is easily machined and can be assembled by welding. Stainless steel and more recently Invar (TM) have been used, Invar (TM) being particularly suitable because of its high stiffness and low (for a metal) coefficient of thermal expansion. However, it has been found that the thermal stability requirements of an EUV lithography apparatus cannot be met with such a frame without either thermal cooling or predictive temperature control.

According to the present invention it is proposed to make the frame 10 of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. More preferably the material of the frame 10 has a coefficient of thermal expansion of less than 0.05×10^{-6} or $0.02 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Unfortunately there are no presently known metals with a coefficient of thermal expansion in this range with the required stiffness and this is why the frame 10 is to be made of a glass ceramic material.

In order for the frame 10 to resist unwanted vibrations the frame 10 must be stiff. Theoretically the required stiffness of the frame can be achieved by many materials simply by making the individual members of the frame 10 thicker. However, if the material of the frame has a high Young's Modulus, E, and a low density this is preferable as the frame 10 may be made both lighter and less bulky.

It has been found that low coefficient of thermal expansion glass ceramic materials are best suited to the frame 10 of the present invention. Examples of such glass ceramics are ULE (TM), Zerodur (TM), and Cordierite(TM), Clearceram-Z (TM) or Astrosital (TM) (also known as Sital, Sital CO-115M and Astrosital) which are a combination of glass and ceramic but are neither glasses nor ceramics. The mechanical properties of those materials in comparison to mechanical properties of stainless steel and Invar (TM) are given in Table 1:

Table 1

| Material | E MN/m ² (MPa = 10 ⁶ N/m ²) | Coefficient of Thermal Expansion K ⁻¹ | Density kg/m ³ | Emission Coefficient for Electromagnetic Radiation in Infrared Range |
|-------------------|--|---|------------------------------|---|
| Stainless Steel | 200 000 | 10 x 10 ⁻⁶ | 7 700 | 0.1-0.2 |
| Invar (TM) | 140 000 | 1 x 10 ⁻⁶ | 8 100 | 0.1-0.25 |
| ULE (TM) | 70 000 | 0.01 x 10 ⁻⁶ | 2 200 | 0.8 |
| Zerodur (TM) | 90 000 | <0.05 x 10 ⁻⁶ | 2 500 | 0.8 |
| Cordierite (TM) | 140 000 | 0.05 x 10 ⁻⁶ | 2 600 | 0.8 |
| Astrosital (TM) | 90 000 | 0.03 x 10 ⁻⁶ | 2 500 | 0.8 |
| Clearceram-Z (TM) | 90 300 | 0.03 x 10 ⁻⁶ | 2 550 | 0.8 |

ULE (TM) is a titanium silicate glass ceramic manufactured by flame hydrolysis. The material is based on SiO₂ with TiO₂ present in a quantity of about 7 wt%. Other low expansion glasses, including Zerodur (TM), are based on SiO₂ and at least one alkaline metal oxide such as Na₂O, Li₂O or K₂O. Cordierite is based on MgO, Al₂O₃ and SiO₂.

As can be seen from the Table 1, suitable materials for the frame are the glass ceramic materials which have a Young's Modulus, E, of at least 60,000 MN/m². However, there are some ceramics which also meet the requirements.

As can be seen from Figure 2, the frame 10 is manufactured from a plurality of pieces of glass ceramic. In the preferred embodiment the glass ceramic material is Zerodur (TM). The separate parts of the frame 10 are connected by gluing, fritting (gluing at high temperature in which a glue material is placed between the pieces to be joined), fusion or by using bolts. The elongation of the frame 10 over time with temperature will thus be reduced by a factor of 200 with respect to normally used types of stainless steel.

The frame 10 may be constructed in any suitable way. In the preferred embodiment the frame 10 is made of three generally parallel plates including a central first plate 100 and two further plates 110, 120 which are positioned in spaced apart relationship to the central first plate 100 with one of their major surfaces facing a major surface of the central first plate 100.

Plates can be prone to vibrations and so the plates 100, 110, 120 are connected together using stiffener elements 130 which extend between an edge of one of the further plates 110, 120 and an edge of the central plate 100. In the preferred embodiment the stiffener elements 130 extend along the entire length of the edge of the plates (i.e. they are in the form of plates) but the required stiffness is achievable even if the stiffener elements 130 only extend between corners of the plates 100, 110, 120 for example they could be in the form of bars linking the plates.

Preferably the optical elements are mounted to the plates 100, 110, 120. Through holes 115, 135 in both the plates 100, 110, 120 and the stiffener elements 130 allow the projection beam PB to enter the frame 10 and also for the provision of utilities such as gas, air etc. to the positioning means of the optical elements and also for sensors and the like inside the frame 10. There may be removable access panels in the stiffener elements 130 and/or plates 100, 110, 120 to facilitate access to the optical elements.

The frame 10 has been described with reference to supporting optical elements and may also support components of various sensors to detect the position of the optical elements. However, the invention is equally applicable to a so-called "reference frame" of the projection system which supports components of the various sensors to detect the position of the optical elements separate from the support frame of the projection system as described above.

Whilst specific embodiments of the invention have been described above, it will be appreciated that the invention may be practiced otherwise than as described. The description is not intended to limit the invention.

4 Brief Description of Drawings

Figure 1 depicts a lithographic projection apparatus according to an embodiment of the invention; and

Figure 2 is a cross-sectional view of a frame of the projection system of a lithographic projection apparatus according to the embodiment of the invention.

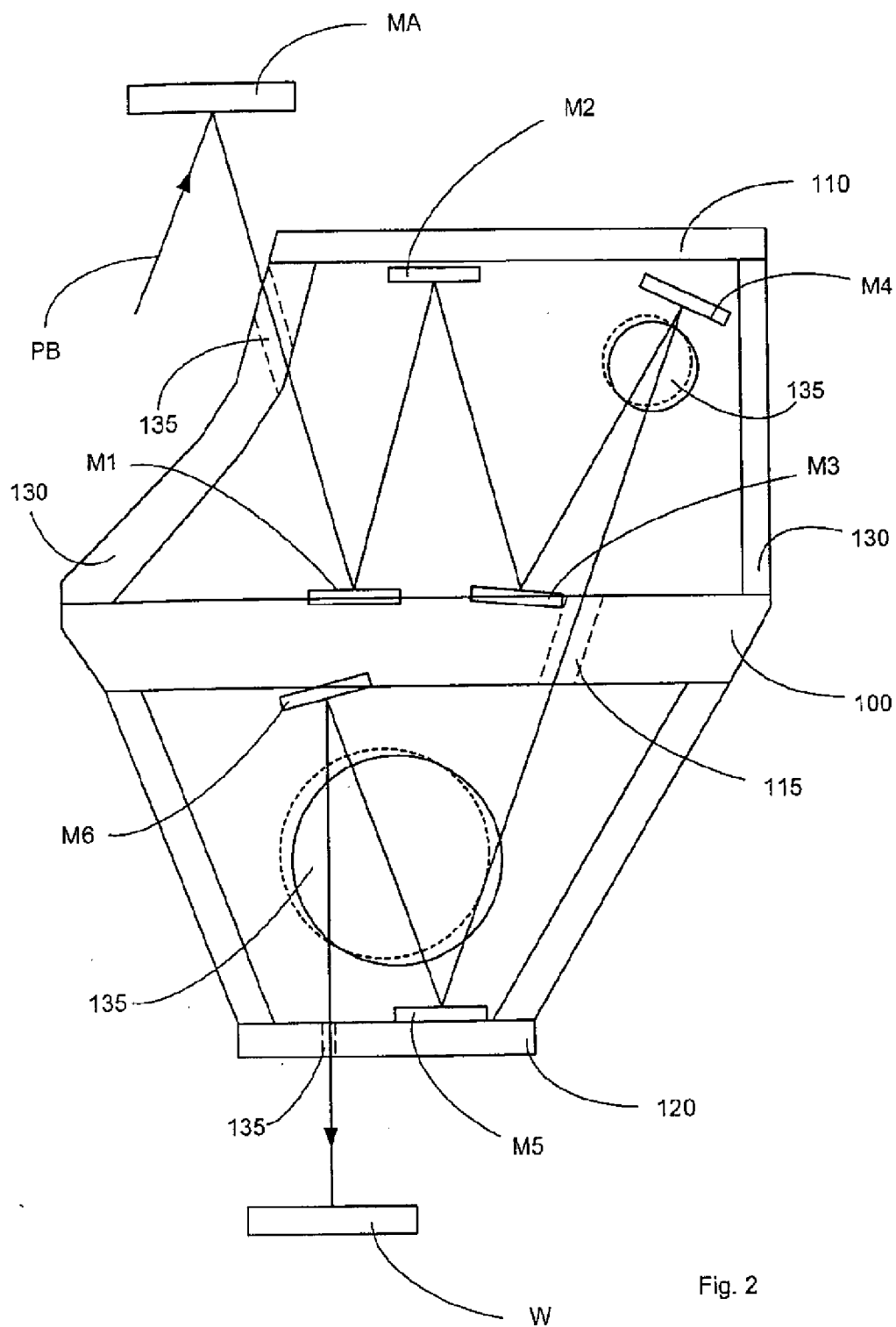


Fig. 2

1 Abstract

A lithographic projection apparatus in which the projection system comprises a plurality of optical elements or sensors mounted on a frame. The frame is made of a glass ceramic material with a coefficient of thermal expansion of less than or approximately equal to $0.1 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ thereby avoiding the need for expensive cooling systems and/or predictive temperature compensation.

2 Representative Drawing

Fig. 2